

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **05211342 A**

(43) Date of publication of application: **20.08.93**

(51) Int. Cl. **H01L 29/804**  
**H03K 17/56**

(21) Application number: **04313204**

(22) Date of filing: **24.11.92**

(30) Priority: **27.11.91 GB 91 9125198**

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(72) Inventor: **DEBITSUDO EE UIRIAMUSU**

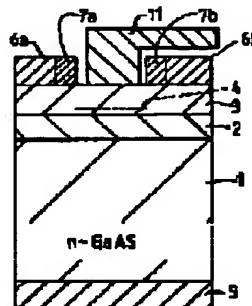
**(54) SWITCHING ELEMENT**

**(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To provide a switching element, wherein the electric resistance of a conduction region of a nano-structure can be changed-over between discontinuous, different quantization resistance levels.

**CONSTITUTION:** A switching element is provided with means 6 and 7 for forming a conduction region of a nano-structure to show the resistance of one of a plurality of discontinuous levels on a specified operating condition and a control means 11 for changing-over selectively the resistance of the region between the discontinuous levels.

**COPYRIGHT:** (C)1993,JPO&Japio



(11)特許出願公開番号

特開平5-211342

(43)公開日 平成5年(1993)8月20日

### 技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全 4 頁)

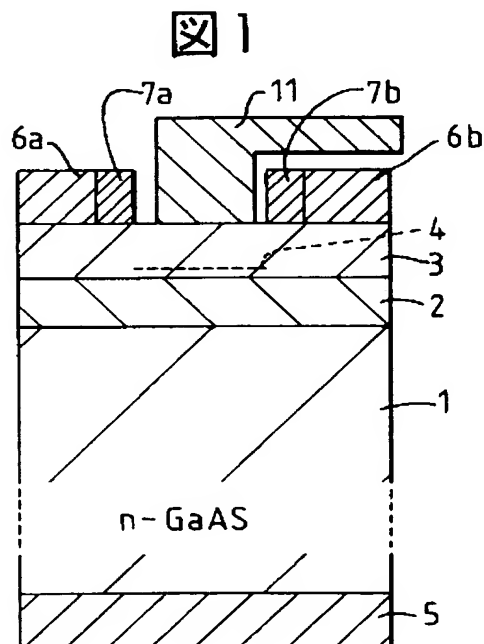
(74)代理人 弁理士 富田 和子

(54)【発明の名称】 スイッチング素子

(57) 【要約】

【目的】 ナノ構造の伝導領域の電気抵抗を、不連続な異なる量子化抵抗レベルの間で切り替え制御できるスイッチング素子を提供する。

【構成】 特定の動作条件で複数の不連続レベルの一つの抵抗を示すナノ構造の伝導領域を生成する手段6, 7, 8と、該領域の抵抗を不連続レベル間で選択的に切り替える制御手段11とを備えた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】特定の動作条件で複数の不連続レベルの一つの抵抗を示すナノ構造の伝導領域を生成する手段と、該領域の抵抗を前記不連続レベル間で選択的に切り替える制御手段とを備えたことを特徴とするスイッチング素子。

【請求項2】前記伝導領域は、細長い伝導チャネルを定める手段と、該伝導チャネル内に互いに隣接した横方向制限部とを有することを特徴とする請求項1記載のスイッチング素子。

【請求項3】前記制御手段は、前記伝導チャネルの前記制限部の間に制御バイアスを印加する手段を有することを特徴とする請求項2記載のスイッチング素子。

【請求項4】実質的に2次元の電子ガスを生成する手段と、該電子ガスを束縛して前記伝導チャネルを定める離間したゲート手段とを備え、該ゲート手段は、前記伝導チャネルの前記横方向制限部を定める対向した突起部を有することを特徴とする請求項2または3記載のスイッチング素子。

【請求項5】半導体基板を備え、該半導体基板を前記電子ガス生成手段で被覆し、該電子ガス生成手段を前記ゲート手段で被覆したことを特徴とする請求項4記載のスイッチング素子。

【請求項6】前記電子ガスの電位に足して正の電位を前記ゲート手段に印加する手段を備えたことを特徴とする請求項5記載のスイッチング素子。

【請求項7】前記電子ガスの電位に対して正の電位を前記基板に対して印加する手段を備えたことを特徴とする請求項5または6記載のスイッチング素子。

【請求項8】前記基板はGaAsからなり、前記電子ガスは、前記基板を被覆するGaAsおよびGaAlAsの層のヘテロ接合部に形成されることを特徴とする請求項5、6または7記載のスイッチング素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、スイッチング素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年の、半導体における狭い電子チャネルに関する実験によれば、このようなチャネルの伝導度は、低温で電子密度に応じて周期的に発振することが分かっている(ユー・メイラフ(U. Meirav et al)による”シングル・エレクトロン・チャージング・イン・ペリオディク・コンダクタンス・レゾナンス・イン・GaAs・ナノ・ストラクチャー(Single Electron Charging in Periodic Conductance Resonances in GaAs Nano-structure)”フィジカル・レビュー・レターズVol. 65, No. 6 1990年8月)。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明者は、同様の構造について実験を行ったところ、このような狭いチャネ

ルの共振は、特定の動作条件において、複数の量子化レベルの一つである抵抗を示しうることを発見した。本発明は、この発見を利用し、ナノ構造の伝導領域の電気抵抗を、不連続な異なる量子化抵抗レベルの間で切り替え制御できるスイッチング素子を提供するものである。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】すなわち、本発明は、特定の動作条件で複数の不連続レベルの一つの抵抗を示すナノ構造の伝導領域を生成する手段と、該領域の抵抗を不連続レベル間で選択的に切り替える制御手段とを備えるスイッチング素子を提供するものである。

【0005】伝導領域は、細長い伝導チャネルとして形成され、このチャネルの抵抗が前記の複数の不連続レベルを示すように、チャネル内に相互に近接した横方向の制限部(transverse restrictions)を設ける手段が付加される。制御手段としては、制限部間においてチャネルに制御バイアスを印加する手段を有する。

【0006】伝導チャネルは、対向した突出部を有する所定間隔隔たったゲート手段により2次元電子ガスを束縛することにより、形成することができる。

【0007】本素子は、2次元電子ガスを生成するGaAs/GaAlAsヘテロ接合を有するGaAsナノ構造として実現することができる。ゲート手段は、適当な金属被覆、例えば、Au/Tiの二重層で構成することができる。

## 【0008】

【作用】本素子は、GaAs基板上に容易に構成することができ、2次元電子ガスの電位に対して正のバイアス電位が基板とゲート手段とに印加される。

## 【0009】

【実施例】本発明のよりよき理解のために、以下、添付図面を参照しながら本発明の一実施例について説明する。

【0010】図1に示した素子は、十分にnドープされたGaAs基板1を有し、この基板1上に分子線エピタキシー(molecular beam epitaxy)により成長させた厚さ100nmの非ドープGaAlAsのヘテロ層2が被覆されている。この層2の上に、さらに、同様に分子線エピタキシーにより成長させた厚さ120nmの非ドープGaAsのヘテロ層3が被覆され、表面近くに形成された珪素(silicon)のデルタドープ層(delta doping layer: 図示せず)が設けられる。2次元電子ガス4は、層3のGaAs/GaAlAsのヘテロ接合部に生成される。

【0011】図1に示した構造は、光学的リソグラフィおよびウェットエッチング(wet etching)により、メサ(mesa)として容易に構成することができる。背面ゲート電極5は、典型的には、金/ゲルマニウム/ニッケルの合金として基板上に形成される。層3の上には、被覆ゲート構造6が形成される。被覆ゲート構造6は、平行

3

ゲート電極6 a, 6 b (図2参照) からなり、これにより2次元電子ガス4を束縛して細長い伝導チャネルを形成する。電極5は、オーム接点を形成し、高速電子ビームアニーリング (rapid electron beam annealing) により焼結される。これにより、電極(contactor)合金を基板中に拡散させることなく、界面 (interface) において良好な接触を得ることができる。ゲート電極6 a, 6 bは、2段階の工程により形成される。すなわち、まず、光学的リソグラフィおよびチタン/金の二重層を用いて初期ボンディングを形成し、その後、金層を用いて電子ビームリソグラフィを行い微細構造を形成する。

【0012】図2に示すように、ゲート電極6 a, 6 bは、その間に、実質的に、ほぼ2  $\mu\text{m}$  幅の導電ワイヤを定めることになる。隣接して向き合った2対の突起7 a, 7 bおよび8 a, 8 bは、チャネルを横切る方向に制限部を形成する。典型的には、突起7および8のチャネル長手方向の間隔は0.8  $\mu\text{m}$  であり、突起の互いに向かいあった先端部の間隔は1  $\mu\text{m}$  である。図2に示したようなチャネルの長さは5  $\mu\text{m}$  程度でよい。

【0013】動作時には、ゲート電極6 a, 6 bに対してバイアス電圧 (典型的には0.15ボルト) が印加される。このバイアス電圧は、2次元電子ガス4の電位に対して正の電圧であり、その結果、ガス4が束縛され、電極6 a, 6 bの間に細長い伝導チャネル (すなわち、ワイヤ) が形成される。図では、チャネルの範囲を破線9 a, 9 bで示している。チャネルの両端には、オーム接点12 a, 12 bが電極5と同様の方法により形成される。突起7, 8の効果は、伝導チャネル内に近接した挟まれた領域を形成し、これにより量子ドット10を形成することである。

【0014】本発明者は、この導電チャネルが、以下図3で説明するような意外な抵抗特性を示すことを発見した。チャネル9 a, 9 bの抵抗は、低周波ロックイン法 (low frequency lock-in techniques) を用いて、希釈冷蔵庫 (dilution refrigerator) 内で測定した。背面ゲート電極5に印加する電位は、2次元電子ガス4の電位に対して0ボルトから累進的に0.5ボルトまで掃引して増加させた。その結果をプロットした散布図を図3に示す。同図において線に見えるものは多数のデータ点の集まりである。図3に示した結果は、1回の掃引に基づくものであるが、連続して複数回掃引した場合もこれに酷似した結果となる。図から、チャネル抵抗は、電圧V a, V bの間で、複数の不連続な量子化された安定なレベルのうちの一つとなることが分かる。この量子化は、標本 (specimen) が1 Kまで温められたときには観察されなかったが、標本を再度冷却したときに再び現われた。背面ゲートバイアスを低いバイアスから高いバイアスへ向けて掃引したときには、いずれの掃引時にも、抵抗値の複数の量子化抵抗レベルの間での激しい変動が繰返し観察されたが、高いバイアスから低いバイアスへの

4

掃引時にはこのような現象は観察されなかった。

【0015】後に詳述するように、この量子化チャネル抵抗は、突起7 a, 7 bおよび8 a, 8 bの間の量子ドットの電子占有の関数と考えられ、背面ゲートバイアスを値V aとV bとの間とする単一バイアス状態に本素子を置いたのでは抵抗変動がみられないということが判明している。そこで、本発明では、チャネルの量子ドット10の領域を覆う制御電極11をさらに設けた。この制御電極11は、典型的には、ゲート電極6 a, 6 bと同じ方法によりAu/Ti二重層として形成される。電極11により、量子ドット10の領域に制御電位を印加して、その電子占有状態を変化させる。これにより、図3に示すように複数の量子化レベル間でチャネルの抵抗値を切り替えることができる。このように、本発明により、少なくとも第1および第2の論理レベル間で切り替え可能な素子を提供することが可能となる。すなわち、本素子は、スイッチング論理回路として利用できる。また、本素子は、異なる量子化抵抗レベル間で切り替えを行うことにより、チャネルに沿って進行する電子のフェーズ (phase) を制御するのに用いることができる。

【0016】以下、量子化抵抗レベルが生じる理由について、非制限的に説明する。本素子に対してその制御電極11に電圧を印加しない場合について再度考える。この場合、図3に示した抵抗特性は、2つの量子化レベルL1, L2を示す。レベルL1, L2は、それぞれ抵抗値としてほぼ $h/e^2$ ,  $h/2e^2$ である。両量子化レベルは、2対の突起7 a, 7 aおよび8 a, 8 bの間のチャネルに沿った電子の移動の観点から説明できる。低い方の抵抗レベル $h/e^2$ は、チャネルに沿って量子ドット10が弾道的に通過する場合に生じると考えられる。この場合、見かけの総抵抗は複数組の突起7, 8の一组によって与えられる抵抗に等しい。なぜなら、1個の電子が例えば突起7を通過するに適切なエネルギーを持っているとき、このエネルギーは突起8をも通過するよう予め選択されているであろうからである。一方、高い方の抵抗レベル $h/2e^2$ は、突起7, 8の間で電子の拡散的移動が起こっているときに生じると考えられる。この場合、突起の各組によって与えられるインピーダンスは、互いに加算され、直列化されているように見える。

【0017】2つの状態L1, L2の間でスイッチングが起こる理由は、突起7, 8との間の量子ドット10の充満および空乏によるものと考えられる。すなわち、量子ドット10における電子密度が高ければ、電位変動が隠されるために電子の移動は弾道的になり易く、この程度の長さ尺度でかつ低い動作温度においては電子/電子相互作用は大きくない。逆に量子ドット10における電子密度が低ければ、その位置または離れた位置における材料欠陥による電位変動に移動電子が遭遇し、電子移動が拡散的になる。そのため、チャネル内の電子により高い抵抗レベルが与えられることになる。量子ドット10

5

の充満および空乏は、低い電子密度側から量子化レベルへ近づくとに見られるランダム変動によって生じる。このランダム変動は、高い電子密度側から近づくとときには隠蔽される。これにより、抵抗変動がみられるときの低から高への背面ゲートバイアスの掃引時と、抵抗変動がみられないときの高から低への背面ゲートバイアスの掃引時との差異を説明することができる。したがって、制御電極11は、量子ドット10の電子占有性を変化させることにより、量子化レベルL1、L2の間で抵抗を切り替えることができる。

【0018】

【発明の効果】本発明によれば、ナノ構造の伝導領域の電気抵抗を、不連続な異なる量子化抵抗レベルの間で切り替え制御できるスイッチング素子を提供することがで

6

きる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるスイッチング素子の断面図である。

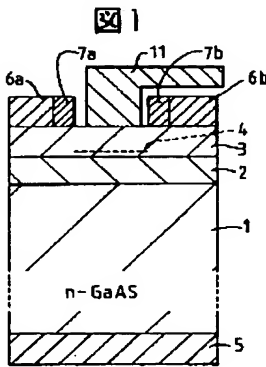
【図2】図1に示した素子の平面図である。

【図3】背面ゲートバイアスの関数としてのチャネル抵抗のグラフである。

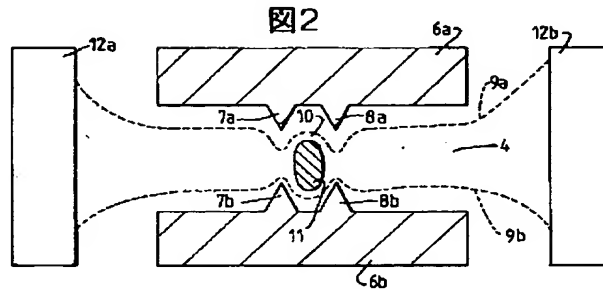
【符号の説明】

1…GaAs基板、2…非ドープGaAlAsのヘテロ層、3…非ドープGaAsのヘテロ層、4…電子ガス、5…背面ゲート電極、6…被覆ゲート構造、7、8…突起、9…チャネル、10…量子ドット、11…制御電極、12…オーム接点。

【図1】



【図2】



【図3】

図3

